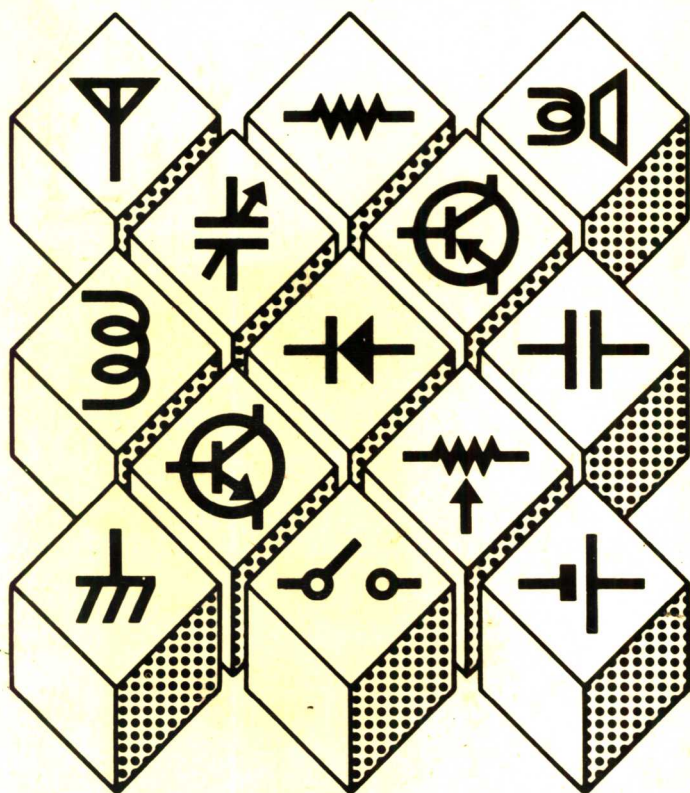


電晶體電路設計要領

〔原理・應用〕

陳連春 譯



建宏書局總經銷

電晶體電路設計要領

編著者：陳連春編譯

發行人：林世楨

發行所：建宏出版社

登記證：局版台業字第1472號

總經銷：建宏書局

電話：3818884・3314516

地址：台北市重慶南路一段六十三號

郵政劃撥：一〇六九一〇號

中華民國六十九年三月出版

特價：110元

編 輯 大 意

目前國內一般從事電子工程之工程師、技術員，以及攻讀電子工程的同學，總是認為要自己設計一套電子電路或裝置是一件不容易的事。其實，此項工作並不難，只要大家能徹底瞭解一些基本原理，並勤加練習，久而久之，就能得心應手，樂在其中。

本書主要是根據日本誠文堂新光社所出版的“電晶體電路設計基礎”一書，加以編譯而成。全書共分六章，第一章將電晶體電路設計之基本原理和方法做最完整及扼要之說明。第二至六章則對於電晶體電路之應用，分門別類說明其動作原理與設計之方法。因此，本書對於欲瞭解電晶體應用電路原理的讀者，或者欲深入瞭解其設計方法的讀者，都是非常適用的。

本書編譯之目的在於提高國內電子工程技術者之設計能力和水準，用意雖宏，錯失之處尚祈先進不吝指教。

陳連春 謹識

目 錄

第一章 電路設計之基本

電晶體之動作電路.....	3
射極接地電路.....	3
集極接地電路.....	3
基極接地電路.....	4
電晶體之特性.....	4
h 參數.....	4
最大規格.....	6
電氣之特性.....	7
由於所使用之電流・電壓而使參數值變化.....	9
由於溫度所引起特性之變化.....	10
偏壓之加入法.....	10
偏壓之必要理由.....	11
固定偏壓電路.....	12
電流回授偏壓電路.....	13
自給偏壓電路.....	18
不良之偏壓電路.....	18
2 級直接交連之偏壓電路.....	19
輸出與工作電流.....	21
放大率與輸出.....	21
電阻負載之工作電流.....	23
變壓器負載之工作電流.....	26
阻抗匹配.....	27

匹配之必要	27
阻抗變換	27
利用變壓器之阻抗匹配	28
變壓器選擇之注意點	28
輸出側也匹配	29
利用射極隨耦器之匹配	31
利用高 h_{FE} 電晶體之匹配	32
電容器之設計	33
輸入交連電容器	33
級間交連電容器	34
射極之傍路電容器	35
高頻降低之電容量	37
其他重點	37
調諧電路	37
電晶體之 h_{FE}	39
3 級電路之 C R	40
電容量太大之缺點	41
V R 之連接位置	42
加上指示燈	42
電路儘量簡單	43
電源之選擇與壽命	43
測試器自行製作	46

第二章 收音機之設計

電路別之設計	51
收音機之組成	51

設計之順序.....	51
A類電功率放大電路之設計.....	52
激勵級之設計.....	56
B類推挽式電功率放大電路之設計.....	63
SEPP電路之設計.....	65
高頻放大電路之設計.....	70
收音機之設計	75
2電晶體直接式收音機.....	75
3電晶體收音機.....	77
5電晶體超外差式收音機.....	81
3電晶體檢波收音機.....	83
2電晶體反射型收音機.....	86
2電晶體耳機用收音機.....	89
低電壓電源動作之2電晶體收音機.....	92
1~2電晶體耳機反射型收音機.....	95
超外差式收音機.....	97

第三章 通話電路之設計

標準形3電晶體對講機	107
對講機之組成.....	107
放大電路之設計.....	107
呼叫電路.....	108
通話切換開關.....	109
電路之結論.....	110
製作時之注意.....	111
SEPP電路之對講機	112

電路之組成·····	112
製作上之注意·····	112
AM無線麥克風·····	115
調變之方法·····	116
振盪電路之設計·····	118
調變電路之設計·····	119
電路之結論與製作·····	121
FM無線麥克風·····	124
FM之方法·····	124
振盪電路之設計·····	125
電路之結論·····	125
製作上之注意·····	127

第四章 檢知與報知電路之設計

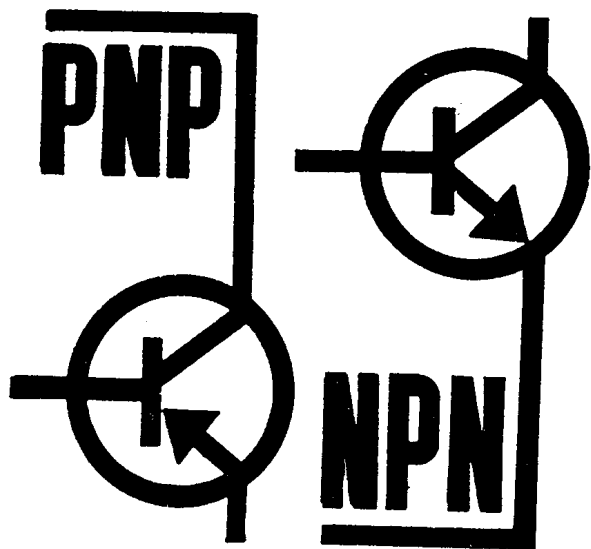
檢知電路·····	131
檢知之對象·····	131
水之檢知電路·····	131
光之檢知電路·····	131
溫度之檢知電路·····	133
其他之檢知電路·····	133
報知電路·····	133
蜂鳴器與鈴·····	134
電子蜂鳴器·····	134
指示燈等·····	137
繼電器之原理與使用方法·····	137
繼電器之組成·····	137

繼電器之動作與選擇方法	138
繼電器之使用方法	140
檢知與報知電路之設計	142
設計之基本	142
水量報知器	142
郵政報知器	144
光電繼電器	146
利用自然光源之報知器	148
觸摸繼電器	150
利用高頻率之觸摸繼電器	151
利用人體內電壓之繼電器	155

第五章 計時器之設計

計時器之考慮方法	163
由 C 與 R 來決定時間	163
與電晶體之組合	164
採用 F E T 較有利	164
2 級放大與反轉	165
計時器之最終級	166
電氣計時器之缺點	166
計時器之設計	167
利用蜂鳴器報知之計時器	167
間動作之計時器	172
階梯形之計時器	176
後動作。間動作之計時器	181
其他之電路	183

第一章 電路設計之基本



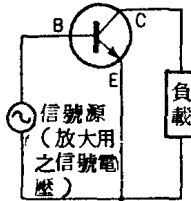
2 電晶體 電路設計要領

電晶體之動作電路

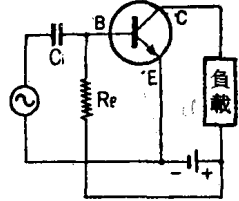
射極接地電路

在使用電晶體之場合，其連接方法有三種。其中之一為射極接地方式（共射極）。如第 1 - 1 圖(a)所示，射極為共通，基極・射極間信號電流流通，集極・射極間連接着負載，放大後之電壓（電功率）便由此取出。

(a)原理電路



(b)實用電路



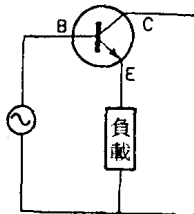
第 1 - 1 圖 射極接地電路

此一方式之電路，由於其放大率很高，因此除了信號頻率很高之場合以外，最常使用到。第 1 - 1 圖(b)所示的為實用電路所加上偏壓之一例。

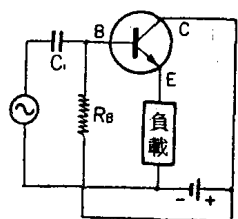
集極接地電路

第 1 - 2 圖(b)所示的為集極接地電路之原理圖，集極為共通，信號電壓加在基極・集極間，輸出則從射極・集極間取出。

(a)原理電路



(b)實用電路

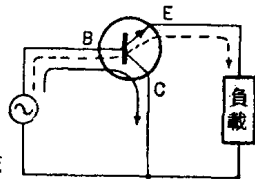


第 1 - 2 圖 集極接地電路

實用之電路，加上偏壓之一例如第 1 - 2 圖(b)所示。

第 1 - 2 圖(a)如果重畫成為如第 1 - 3 圖所示，則其形狀便如同第 1 - 1 圖(a)，集極為共通，信號電流如實線所示，從基極流向集極，另外，也如虛線所示，由基極流向射極。

第 1 - 3 圖 輸入信號電流之流通

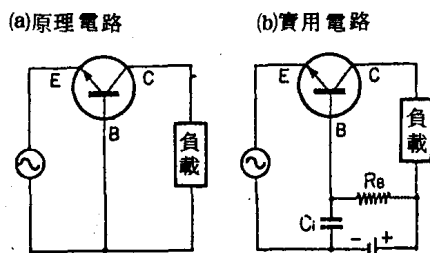


又，集極接地電路也稱為射極隨耦合電路。

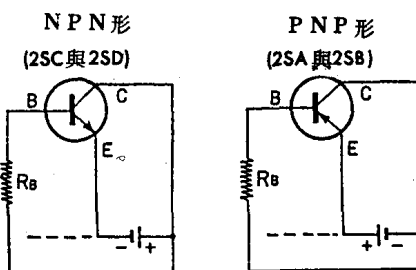
基極接地電路

第 1 - 4 圖(a)所示的為共基極電路，信號電流流入射極，從集極取出輸出信號。實用電路，加上偏壓後之一例如(b)所示。

無論何種方式之電路，電晶體之動作必需如第 1 - 5 圖所示，在集極、射極間加上電源電壓，而偏壓則由電源經過偏壓電阻加在基極上。



第 1 - 4 圖 基極接地電路



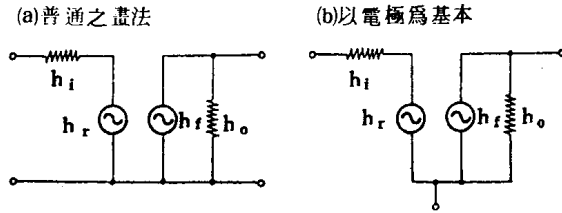
第 1 - 5 圖 直流電壓之加入法

電晶體之特性

h 參數

人體之體格可以用身高、體重、胸圍等來表示，電晶體之規格也可以用一些數值來表示，最常用的為 h 參數。

內部看不見的電氣電路可以用等效電路來表示，在使用 h 參數之場合，可以將等效電路畫成如第 1 - 6 圖所示，包含兩個產生器 (generator) 及兩個電阻，其各術語之意義如下所述。



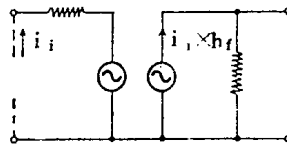
第 1 - 6 圖

又，電晶體之電極有三個，因此其等效電路圖可以畫成如第 1 - 6 圖 (b) 所示。

h_i … 輸入阻抗 此為在輸入端信號之輸入阻抗，實際上由於有接上負載，因此在動作時，實際之輸入阻抗與 h_i 值有差別，但實用上，差別並不太大。

h_r … 電壓回授率 此為電晶體之輸出端加上電壓，在輸入端所表現之性質，其電壓之比例稱為電壓回授率。

h_f … 電流放大率 此是指輸入電流與輸出端電流之比例，如第 1 - 7 圖所示，輸入電流為 i_i ，輸出電流則為 $i_i \times h_f$ 。



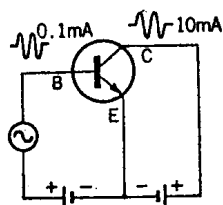
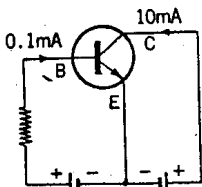
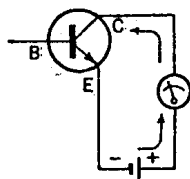
第 1 - 7 圖 電流之產生

h_o … 輸出電導 (conductance) 此為輸出端之阻抗，由於電導為阻抗之倒數，因此輸出阻抗可表示為 $1/h_o$ 。

電晶體之使用方法有如第 1 - 1 圖至第 1 - 4 圖所示之 3 種類，由於使用之方法不同，其參數值也不同，如果為射極接地方式，則其表示之符號為 h_{ie} , h_{re} , h_{fe} , h_{oe} ，加上小文字 e ，又，集極接地則加上 c ，基極接地則加上 b 。本書所使用之電路大多為射極接地方式。又，由於 h_{re} 之數值很小，也可以忽略不計。

h_{FE} …直流電流放大率 h_{fe} 爲小信號之交流電流放大率，而 h_{FE} 則爲直流電流之電流放大率。其分別如第 1 - 8 圖(a)、(b)所示。

初期之電晶體，如第 1 - 9 圖所示，即使基極無直流電流通，集極仍會有電流通，因此 h_{FE} 值成爲無限大，現在之電晶體，則基極多少有流通電流。又，在實用上（狹窄之範圍） h_{fe} 與 h_{FE} 之值大約相等。

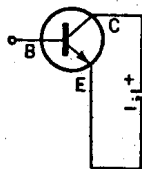
(a) h_{fe} 爲 100(b) h_{FE} 爲 100第 1 - 8 圖 h_{fe} 與 h_{FE} 值不同

第 1 - 9 圖 電流之流通

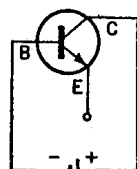
最大規格

電晶體由於種類之不同，其所能忍受之最大電壓或最大電流有一定之限制，此稱爲其最大規格。

(a) 集極・射極



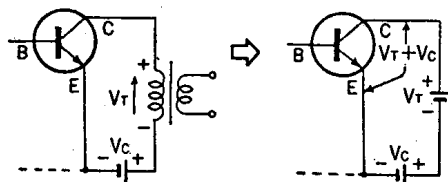
(b) 集極・基極



第 1 - 10 圖 最大集極電壓

集極電壓 加在電晶體之電源電壓如第 1 - 10 圖所示，大多加在集極與射極之間，在少數之場合也有加在集極與基極之間的，因此電晶體之耐壓必需大於所加之電源電壓值。又，在負載爲變壓器之場合，變壓器本身也會感應產生與電源電壓大小相同之電壓值，因此加在電晶體之電壓值約爲電源電壓之 2 倍。耐壓也必需增爲 2 倍。

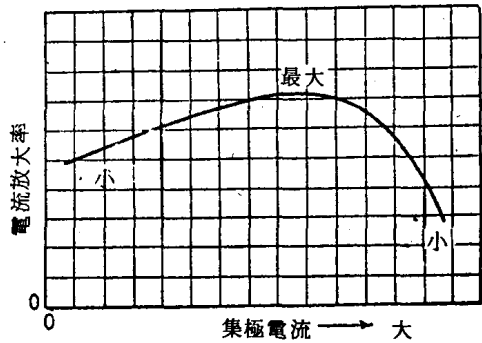
又，第 1 - 10 圖(a)之記號分別



第 1 - 11 圖 負載爲變壓器時

應為 V_{CE0} (C-E 間, 基極開路) 與 V_{CB0} , V_{CB0} 較 V_{CE0} 為大。

集極電流 此表示集極所能夠流過之最大電流, 其文字記號為 I_c 。第 1-12 圖所示的為電流放大率與集極電流之關係, 當電流太大時, 電流放大率會減少, 最大集極電流是指電流放大率不會變得很小時, 集極所能流通之最大電流。

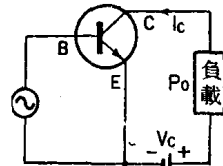


第 1-12 圖 電流放大率之變化

集極損失 電晶體做為放大用之場合, 如第 1-13 圖所示,

由電源所供給之電功率 ($V_c \times I_c$) 並非全部輸出。而是有 30~60% 之損失, 此稱為集極損失 (文字記號為 P_c), 此一集極損失會使電晶體發熱甚至於破壞, 因此有最大值之規定。

又, 第 1-13 圖之電路中, 如果沒有信號電流通 (輸出為零), 則從電源所供給之電功率便全部成為集極損失。



$$P_c = P_i - P_o$$

$$P_i = V_c \times I_c$$

$$P_o = \text{輸出}$$

第 1-13 圖 集極損失

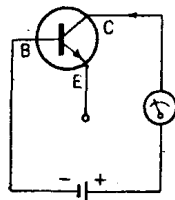
另外一點要注意的是最大電壓 $\times$ 最大電流 會比集極損失大。

最大規格與溫度條件有關, 例如在 25℃ 之場合, 最大規格為 200 mW, 但是在 50℃ 之場合, 則成為 100~150 mW。

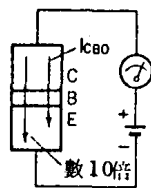
電氣之特性

集極遮斷電流 此是指如第 1-14 圖(a)所示, 當在集極與基極間加上電壓 (較最大集極電壓為低) 時, 所流過之集極電流, 文字記號為 I_{CB0} 。

(a) I_{CB0}



(b) I_{CE0}



第 1-14 圖 集極遮斷電流

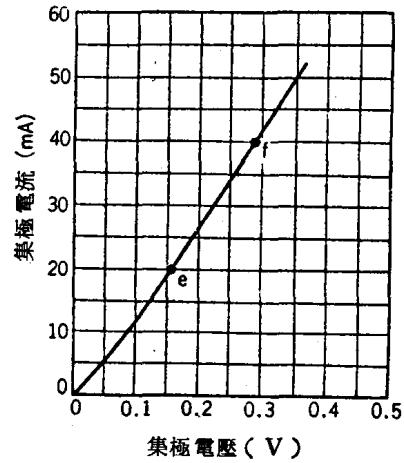
I_{CBO} 大的電晶體，如果連接成爲如第 1-14 圖(b)所示之射極接地之狀態， I_{CBO} 仍然流通，但是也有較此大約數十倍之電流由集極流向射極，此也爲集極遮斷電流，稱爲 I_{CEO} 。電晶體之 I_{CBO} 、 I_{CEO} 之值愈小愈好。

暫態頻率 (transient frequency)

信號頻率如果愈高，電流放大率會愈小，使 h_{fe} 爲 1 時之頻率，稱爲暫態頻率。

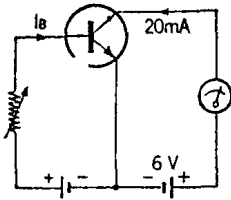
集極飽和電壓 集極、射極間加上較低之電壓，增加基極電流，集極電流雖然會隨之增加，但是到達某一程度後，基極電流再增加，集極電流也不會隨之增加。

第 1-15 圖爲其中之一例，集極電流爲 20mA，集極電壓約爲 0.16 V (e 點)，又集極電流爲 40mA 時，集極電壓需爲 0.29 V (f 點)。此稱爲飽和電壓 $V_{CE(sat)}$ 。

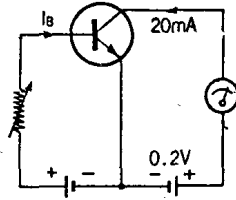


第 1-15 圖 集極飽和電壓

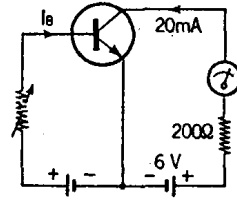
(a) 20 mA 流通



(b) 電壓下降



(c) 加上電阻器



第 1-16 圖 電流不變化

與此相反的，第 1-16 圖(a)之集極加上 6 V，使電流爲 20mA，而在 (b)中，集極即使加上 0.2 V，也可以產生 20 mA (實際上稍微小一些) 之電流。又(c)圖中，利用電阻也可以產生 20 mA 之電流。